



Prof. Dr. Göran Kauermann

Telefon +49 (0)89 2180-6253

goeran.kauermann@lmu.de

Institut für Statistik
Ludwigstr. 33
80539 München

Prof. Dr. Helmut Küchenhoff

Telefon +49 (0)89 2180-2789

kuechenhoff@stat.uni-muenchen.de

Institut für Statistik
Akademiestr. 1/IV
80799 München

CODAG Bericht Nr. 12
1.04.2021

1. **Aktuelle Lage: Belegung von Intensivbetten, Neuansteckungen und altersspezifische Inzidenzen**

   Helmut Küchenhoff, Felix Günther, Wolfgang Hartl[1], Daniel Schlichting

2. **Infektionen am Arbeitsplatz und wie diese weiter getragen werden - eine statistische Betrachtung**

   Diellë Syliqi, Jana Gauß, Ursula Berger, Göran Kauermann

3. **Das Ausbruchs- und Infektionsgeschehen in den Schulen**

   Ursula Berger, Cornelius Fritz, Jana Gauß, Diellë Syliqi, Göran Kauermann

4. **Ein Blick zurück auf die zweite Welle - wer war wann wo infiziert?**

   Mara Stadler, Göran Kauermann, Christian L. Müller

Weitere Informationen zu unseren Analysen und vorherige Berichte der COVID-19 Data Analysis Group (CODAG) finden sich auf unserer Homepage

https://www.covid19.statistik.uni-muenchen.de/index.html

[1] Klinik für Allgemeine, Viszeral-, und Transplantationschirurgie, Campus Großhadern,KUM

1. Aktuelle Lage: Belegung von Intensivbetten, Neuansteckungen und altersspezifische Inzidenzen

Helmut Küchenhoff, Felix Günther, Wolfgang Hartl, Daniel Schlichting

1.1. Entwicklung der Situation auf den Intensivstationen in den einzelnen Bundesländern

Als wichtigen Indikator für den Pandemieverlauf analysieren wir die Zahl der neu auf Intensivstationen (Intensive Care Unit - ICU) aufgenommen COVID-19 Patient*innen, siehe dazu auch unsere letzten Berichte. Die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Notfall- und Intensivmedizin (DIVI[2]) stellt täglich Daten zur Belegung von Betten mit COVID-19 Patient*innen auf Intensivstationen zur Verfügung. Diese Daten werden vollständig und zeitnah gemeldet. Die tägliche Anzahl der ICU-Neuaufnahmen werden von der DIVI nur auf Bundesebene veröffentlicht. Um die entsprechenden Zahlen auf der Ebene der Bundesländer abzuschätzen, verwenden wir ein statistisches Modell: Die Belegungszahl an einem bestimmten Tag setzt sich aus der Anzahl der Neuaufnahmen am selben Tag,der Zahl der an diesem Tag verlegten oder verstorbenen Patient*innen, sowie der Anzahl neu aufgenommener Patient*innen der Vortage zusammen, die weiterhin auf der Intensivstation behandelt werden. Wenn die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Liegedauern auf den Intensivstationen bekannt ist, kann aus der Anzahl der belegten Betten die Anzahl an Neuaufnahmen pro Tag geschätzt werden[3]. Da viele Patient*innen aus Brandenburg in Berliner Kliniken behandelt werden, werden die Daten aus Berlin und Brandenburg zusammengefasst. Ähnliches gilt für die Kliniken in den Bundesländern Hamburg und Bremen. Daher fassen wir die Daten aus Hamburg und Schleswig-Holstein und die Daten aus Bremen und Niedersachsen jeweils zusammen. Die Daten und Ergebnisse der Schätzung der täglichen Neuaufnahmen stellen wir in regelmäßig aktualisierter Form auf einer Website bereit[4].

Wie schon in Bericht 10 diskutiert, verwenden wir zur Analyse der Dynamik Bruchpunktmodelle. Hierbei wird der Verlauf der Kurven datengesteuert in unterschiedliche Phasen gleichen Wachstums bzw. Rückgangs eingeteilt. Zu den Details der Methodik siehe Küchenhoff et al. (2021).

Die Ergebnisse der aktuellen Analyse zeigen in den letzten Wochen eine Zunahme der täglichen Neuaufnahmen auf die ICU in fast allen Bundesländern, siehe Abbildung 1.1 und Tabelle 1.1. Dies ist wahrscheinlich eine Folge einer deutlich beschleunigten Infektionsdynamik in den Risikogruppen für schwere Verläufe.

Die Steigerungsraten sind in Rheinland-Pfalz (täglicher Steigungsfaktor 1.031, 95%-Konfidenzintervall: [1.025, 1.037]) und in Sachsen (täglicher Steigerungsfaktor 1.028 [1.022, 1.035]) am höchsten. Ausnahmen sind nur Hamburg gemeinsam mit Schleswig-Holstein und Bremen mit Niedersachsen, dort ist in den letzten Wochen und aktuell ein stabiler Verlauf zu beobachten (Steigerungsfaktoren nahe bei 1). Die Zahl der

[2] www.divi.de
3 CODAG Bericht Nr 9: https://www.covid19.statistik.uni-muenchen.de/pdfs/codag_bericht_9.pdf
4 https://corona.stat.uni-muenchen.de/icu/

belegten Betten pro 100.000 Einwohner ist weiterhin in Thüringen und Sachsen am höchsten.

Tabelle 1.1. zeigt den Vergleich der aktuellen Zahlen mit den Zahlen zur Vorwoche, basierend auf der prozentualen Veränderung. Auch wenn insgesamt die Dynamik des Anstiegs geringer ist als zu Beginn der zweiten Welle mit täglichen Steigerungsfaktoren um den Wert 1.07, so ist dennoch die aktuelle Entwicklung in einigen Bundesländern als kritisch einzustufen. Ein täglicher Steigungsfaktor von 1.03 entspricht einer Verdoppelung der Anzahl an ICU-Neuaufnahmen innerhalb von 23 Tagen.

Abbildung 1.1. Geschätzter Verlauf der täglichen Neuaufnahmen in Intensivstationen in den deutschen Bundesländern. Dargestellt sind jeweils die Zahlen pro 100 000 Einwohner. Die blauen Linien markieren jeweils die geschätzten Punkte der Trendveränderung mit den zugehörigen Konfidenzintervallen. Zu erkennen ist in den meisten Bundesländern eine Trendänderung hin zu steigenden Zahlen ab März. Ausnahmen sind Hamburg/SH und Bremen/Niedersachsen. Datenstand 30.03.21.

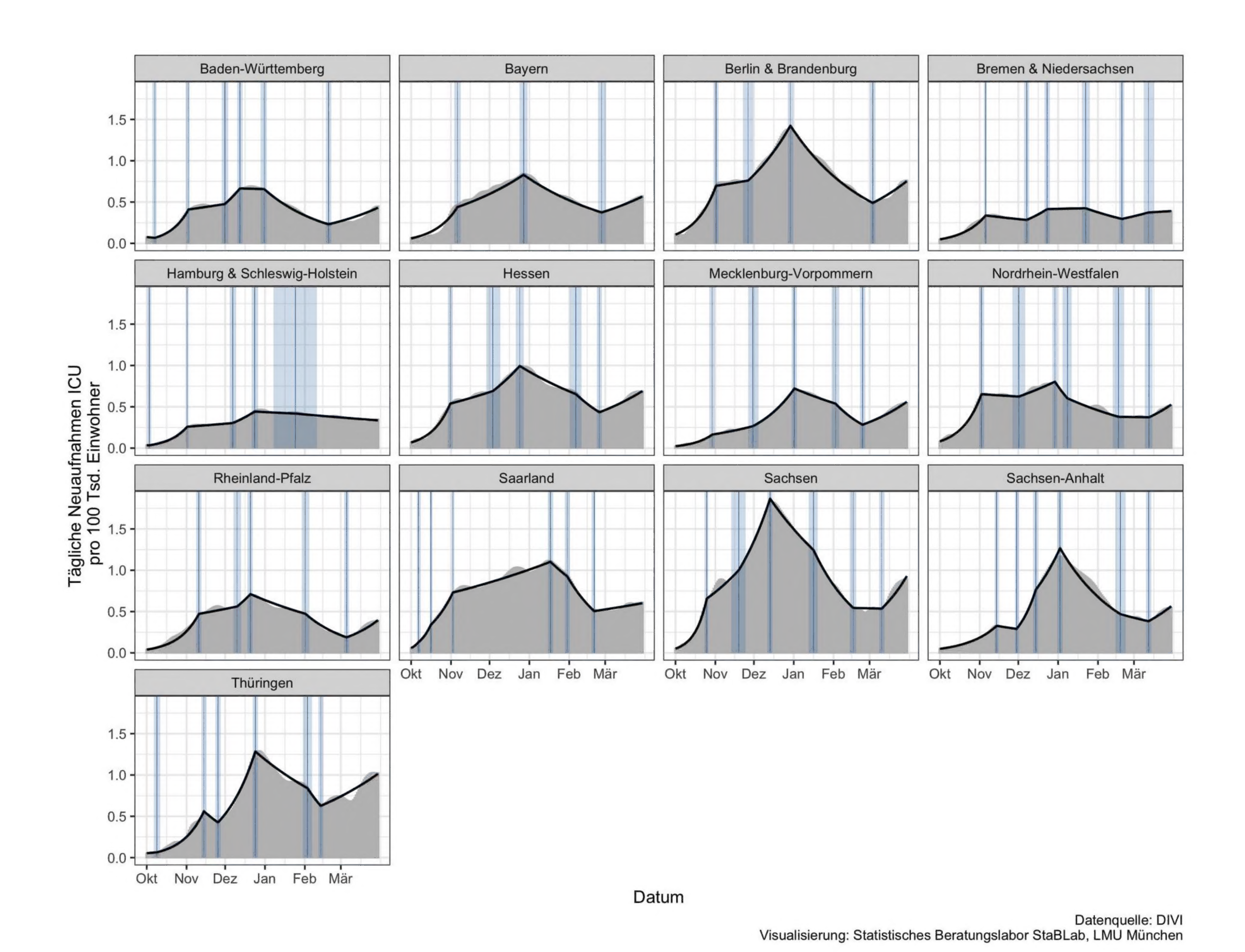


Tabelle 1.1 Vergleich der Indikatoren für das Infektionsgeschehen in den verschiedenen Bundesländern. Angegeben ist das Datum der letzten Trendänderung bei den ICU Neuaufnahmen entsprechend dem Bruchpunktmodell, der aktuelle tägliche Steigungsfaktor (geschätzt aus Bruchpunktmodell), die belegten Betten pro 100.000 Einwohner und die prozentuale Veränderung im Vergleich zur Vorwoche. Schließlich wird die geschätzte Anzahl an täglichen Neuaufnahmen pro 100.000 (Stand 30.03.21)[5] und deren prozentuale Veränderung im Vergleich zur Vorwoche angegeben.

Bundesland	Datum der letzten Änderung ICU-Aufnahmen	aktueller tägl. Steigungsfaktor ICU-Aufnahmen mit Konfidenzintervall	Belegte Betten pro 100.000	Änderung der belegten Betten in %	Geschätzte Anzahl tägl. Neuaufnahmen pro 100.000	Änderung der tägl. Neuaufnahmen in % im Vergleich zur Vorwoche
Thüringen	13.2.	1.011 (1.006-1.016)	7.8	15.0	1.02	7.2
Sachsen	10.3.	1.028 (1.022-1.035)	6.8	18.3	0.89	12.0
Berlin, Brandenburg	3.3.	1.016 (1.010-1.023)	5.8	19.8	0.76	23.1
Hessen	24.2.	1.014 (1.009-1.019)	5.4	12.1	0.69	7.3
Saarland	20.2.	1.005 (1.002-1.007)	5.4	-4.3	0.61	1.4
Mecklenburg-Vorpommern	23.2.	1.020 (1.015-1.025)	4.7	19.3	0.55	9.8
Bayern	26.2.	1.013 (1.004-1.022)	4.6	11.2	0.57	10.1
Sachsen-Anhalt	12.3.	1.022 (1.014-1.030)	4.3	17.2	0.55	14.5
Nordrhein-Westfalen	13.3.	1.020 (1.012-1.029)	3.9	11.7	0.52	13.5
Baden-Württemberg	19.2.	1.016 (1.012-1.020)	3.3	24.2	0.45	30.1
Bremen, Niedersachsen	12.3.	1.002 (0.997-1.008)	3.3	2.8	0.39	2.2
Hamburg, Schleswig-Holstein	25.1.	0.997 (0.995-0.999)	3.1	1.2	0.35	6.4
Rheinland Pfalz	6.3.	1.031 (1.025-1.037)	3.0	21.4	0.39	15.0

[5] aktuelle Zahlen unter https://corona.stat.uni-muenchen.de/icu/

1.2. Geschätzte Neuinfektionen

Bei der Betrachtung von Inzidenzwerten (z.B. 7-Tages Inzidenz) gibt es neben der Problematik variiender Dunkelziffern auch das Problem des Meldeverzugs, d.h. der Zeit zwischen Infektion und deren Meldung. Daher betrachten wir die gemeldeten Fallzahlen in Bezug auf die geschätzte Anzahl an erwarteten Neuinfektionen pro Tag. Dazu verwenden wir die Ergebnisse von Nowcasting-Modellen um für bereits eingetretene, aber noch nicht berichtete Fälle zu adjustieren (siehe dazu Günther et al., 2020) und rechnen mittels einem Rückprojektionsverfahren auf die Infektionszeitpunkte zurück. Die zeitliche Entwicklung der daraus resultierenden erwarteten Anzahl von Neuinfektionen pro Tag wird mittels Bruchpunktmodellen untersucht (Küchenhoff et al., 2020).

Der Verlauf der täglichen Neuinfektionen in Deutschland (Abbildung 1.2.) wurde mit Hilfe der Nowcast Ergebnisse des RKI berechnet. Es zeigt sich seit Anfang Februar zunächst ein leicht steigender Trend bei der Zahl der gemeldeten Neuinfektionen im Bundesgebiet. Ab dem 22. Februar [95%-Konfidenzintervall:20.02.-24.02.] hat die Dynamik der Neuinfektionen zugenommen, der aktuellste tägliche Steigungsfaktor ist 1.035 (95%-Konfidenzintervall: [1.029, 1.042]). Bei gleichbleibender Dynamik entspricht dieser Faktor einer Verdopplungszeit von ca. 20 Tagen. Diese Zahl bezieht sich auf das Infektionsgeschehen bis zum 14.03., aufgrund der Inkubationszeit und Meldeverzögerungen lassen sich aktuell noch keine weiteren Aussagen treffen.

Abbildung 1.2. Bruchpunktanalyse der Daten zu den geschätzten Neuinfektionen in Deutschland . Die Grafik zeigt den Gesamtverlauf mit den geschätzten Bruchpunkten (blaue Linien), die eine Trendänderung markieren. Datenstand 30.03.21.

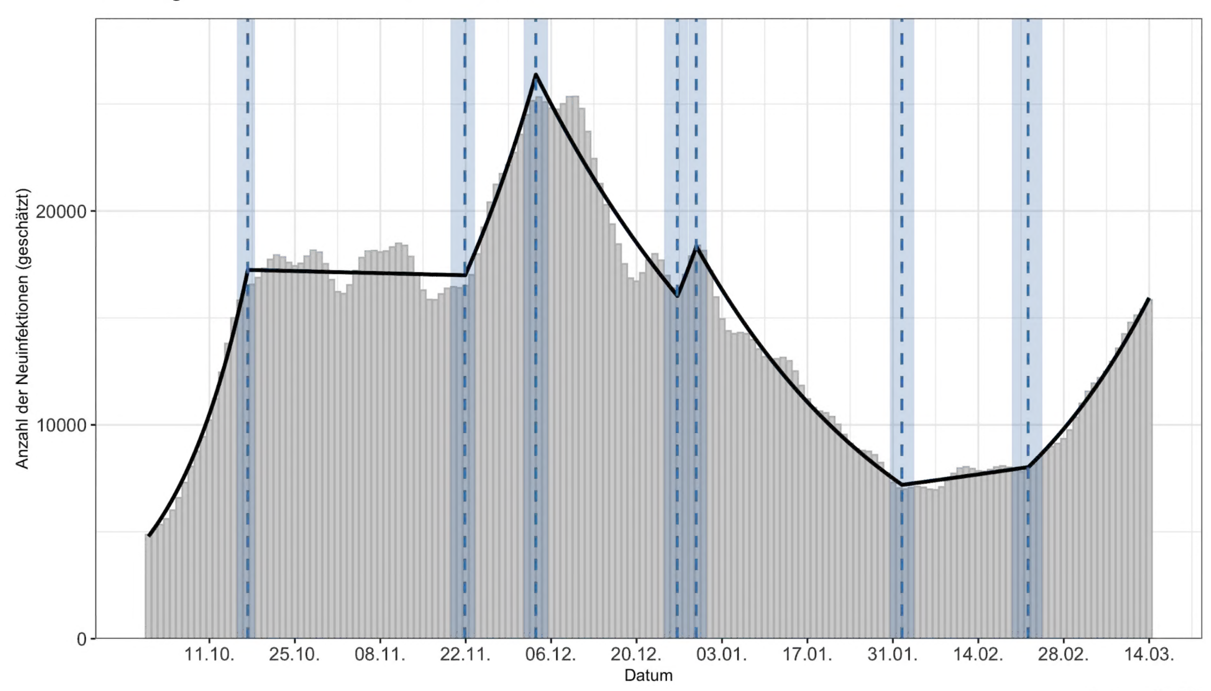
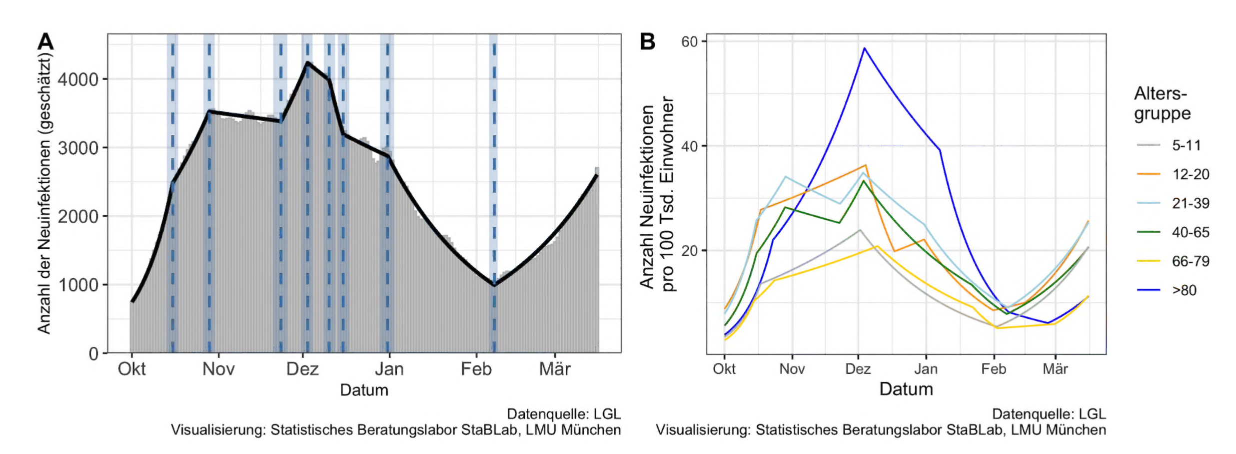


Abbildung 1.3. Bruchpunktanalyse der Daten zu den geschätzten Neuinfektionen in Bayern. Die linke Grafik zeigt den Gesamtverlauf mit den geschätzten Bruchpunkten (blaue Linien), die eine Trendänderung markieren. Auf der rechten Grafik ist die entsprechenden Analyse der geschätzten Infektionszahlen getrennt nach Altersgruppen dargestellt. Datenstand 30.03.21.



Aktuell zeigt sich auch in Bayern im Bezug auf die Infektionszeitpunkte der gemeldeten Fälle ein steigender Trend seit dem 07.02. [06.02.-08.02.] (Abbildung 1.3. A). Der zugehörige Steigungsfaktor ist 1.027 [1.024-1.029]. Bei Betrachtung der Entwicklung innerhalb der unterschiedlichen Altersgruppen erkennt man, dass diese Steigerung zuerst von den Altersgruppen unter 65 geprägt war. Seit ca. dem 01.03. bzw. dem 26.02. steigen die Infektionszahlen allerdings auch in der Gruppe der 66-79, bzw. der >80-Jährigen mit einem täglichen Steigungsfaktor von 1.043 [1.034, 1.053] bzw. 1.034 [1.025, 1.042] (Abbildung 2.3. B). Der im letzten Bericht angedeutete erneute Anstieg der Infektionszahlen in der Altersgruppe über 80 Jahre aus dem letzten Bericht bestätigt sich daher. Bei diesen Analysen ist jedoch zu beachten, dass eine mögliche Veränderung der Dunkelziffer aufgrund verändertem Testverhalten zu einer Verzerrung der Schätzungen führen kann.

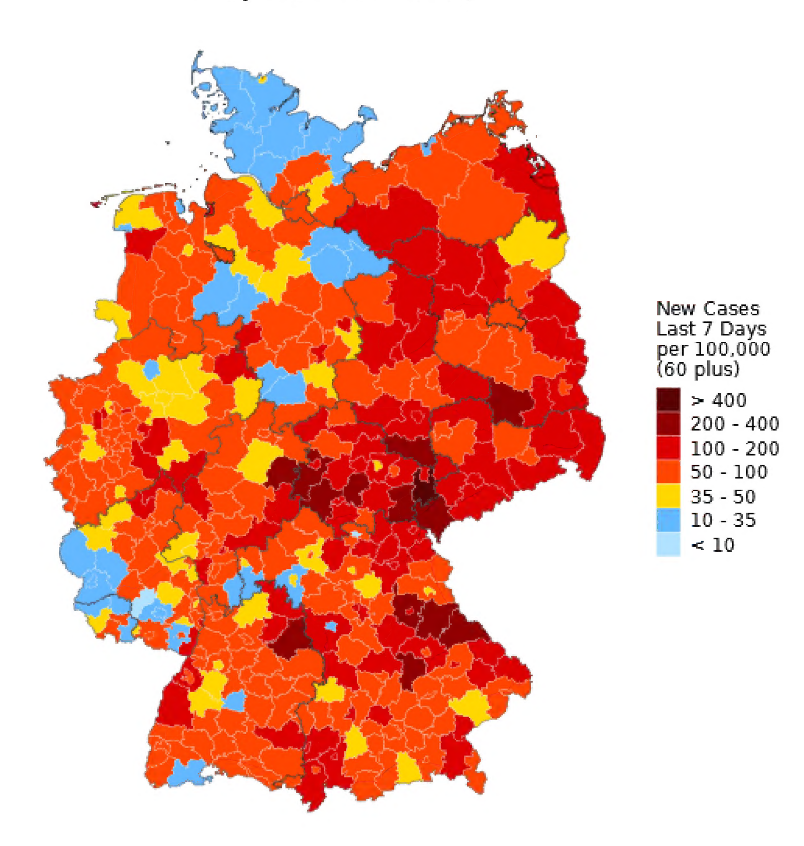
1.3 Inzidenzen der Gruppe der über 60-Jährigen

Die Problematik der Interpretation und Verwendung von Meldeinzidenzen wurde hinreichend diskutiert. Dem Argument, dass hier undifferenziert alle gemeldeten Infektionen gleich behandelt werden, kann man durch die Berücksichtigung von Altersangaben entgegenwirken. Da Personen über 60 Jahre das höchste Risiko von schweren Verläufen haben, sind Infektionen in dieser Gruppe besonders relevant. Daher präsentieren wir Karten für Deutschland mit den Inzidenzen in der Gruppe der über 60-Jährigen Bürger als eine geeignetere Alternative zu den üblichen Karten der Gesamtinzidenzen, siehe Abbildung 1.4.
Da Mortalität und Morbidität in dieser Subgruppe epidemiologisch besonders bedeutend sind, halten wir es für wichtig, diese Karten (und damit die Entwicklung des Infektionsgeschehen besonders in dieser Hochrisikogruppe) in der Bevölkerung zu kommunizieren.

Die (teilweise) sehr niedrigen Inzidenzen (blaue Einfärbung) im Saarland, Schleswig-Holstein/Hamburg und Niedersachsen/Bremen korrespondieren gut mit den entsprechenden tägl. Steigungsfaktoren der ICU-Neuaufnahmen (Tabelle 1.1), die in diesen Bundesländern am niedrigsten waren.

Abbildung 1.4 Darstellung der 7 Tages Inzidenzen der Gruppe der über 60jährigen auf Kreisebene. Eine aktualisierte Fassung mit den entsprechenden Daten ist unter https://corona.stat.uni-muenchen.de/maps/ zu finden.





Im Vergleich zu dem Bericht vor 14 Tagen hat sich die Dynamik verändert. Bundesweit ist aktuell eine deutliche Erhöhung der Zahl der Aufnahmen auf die Intensivstationen zu erkennen. Auch die Zahl der gemeldeten Neuinfektionen in den kritischen Altersgruppen steigt im Durchschnitt. Entscheidend für die regionale intensivmedizinische Dynamik scheint dabei jedoch die jeweilige (regionale) Inzidenz in der Altersgruppe > 60 Jahre zu sein.

Die Modellrechnungen des DIVI-Registers[6], die eine steigende Dynamik der Neuaufnahmen prognostiziert haben, werden durch unsere aktuellen Analysen teilweise bestätigt.
Daher sollte die Zahl die COVID-19 Neuaufnahmen auf die Intensivstationen, und der R-Wert als Maßzahlen des aktuellen Infektionsgeschehens besonders regional genau

6 https://www.divi.de/joomlatools-files/docman-files/publikationen/covid-19-dokumente/210315-divi-kombinierte-lockdown-impfstrategie.pdf

beobachtet werden (aktuelle Werte sind auf unserer Website[7] zu finden). Bei den Inzidenzen empfehlen wir die Betrachtung der Altersgruppe der über 60-Jährigen. Auch die Evaluation von Infektionssettings bezüglich deren Einfluss auf das Infektionsgeschehen in den Risikogruppen, wie z.B. in der aktuelle Analyse des RKIs[8], unterstützen wir in diesem Zusammenhang. Unsere weiteren Analysen bestätigen dabei auch die dort beschriebene relevante Rolle der Ansteckungen am Arbeitsplatz (Abschnitt 2).

Unsere Bruchpunktmodelle für die Zahl der ICU-Neuaufnahmen in den Bundesländern zeigen in der Vergangenheit unterschiedliche Entwicklungen in den einzelnen Bundesländern. Es ist zu beobachten, dass es in den Bundesländern selten anhaltende Phasen mit einem konstanten exponentiellen Wachstum gab. Daher sind Prognosemodelle, die implizit auf diese Annahmen beruhen und entsprechende Extrapolationen durchführen, mit einer großen Unsicherheit behaftet und mit Vorsicht zu interpretieren.

---

[7] tthps://corona.stat.uni-muenchen.de/

[8] https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Downloads/Stufenplan.pdf?__blob=publicationFile

2. Infektionen am Arbeitsplatz und wie diese weiter getragen werden - eine statistische Betrachtung

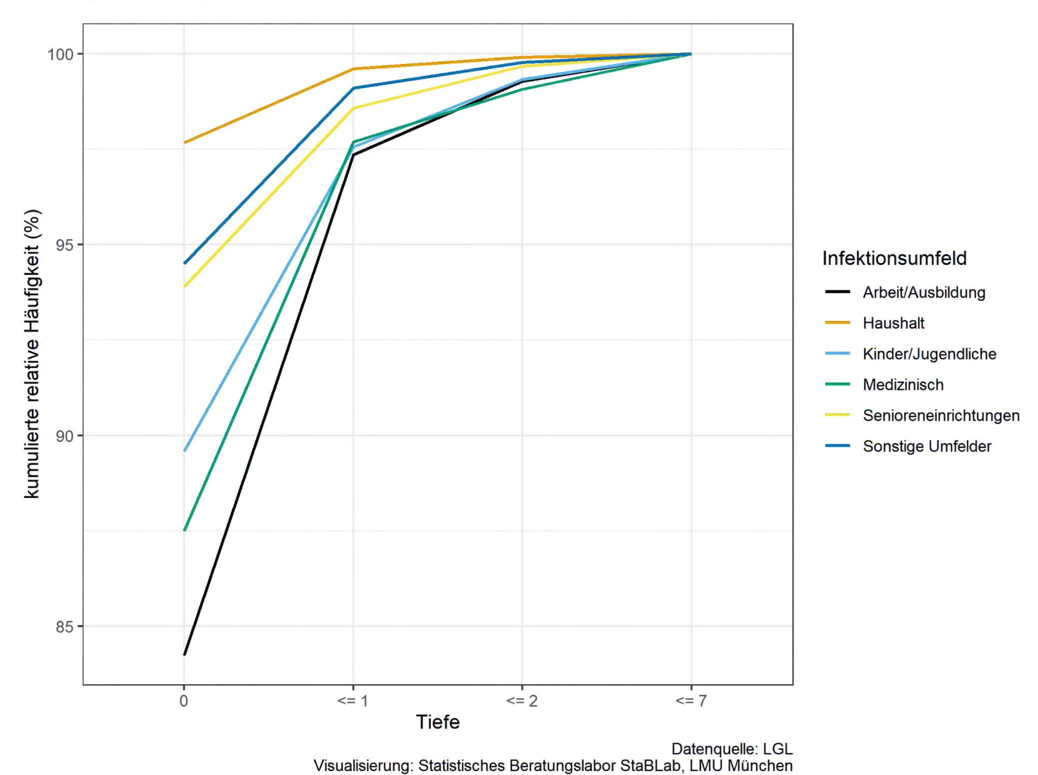
Diella Syliqi, Jana Gauß, Ursula Berger, Göran Kauermann

Das Nachverfolgen der Infektionsketten ist ein hehres Ziel in der Pandemiebekämpfung. Die daraus resultierenden Daten geben Aufschluss über Infektionsketten. Anhand von Daten des bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) wollen wir der Frage nachgehen, wie sich Infektionsketten verbreiten. Das LGL erfasst dazu “Ausbrüche”, und definiert diese als zwei oder mehr Infektionen, die epidemiologisch in einem Zusammenhang stehen. Zu jedem Ausbruch wird das Infektionsumfeld erfasst, also der “Ort” an dem Neuinfizierungen stattgefunden haben, etwa bei der Arbeitstelle, im familiären Kreis oder anderen Umfeldern. Ein erkannter Ausbruch innerhalb eines Infektionsumfeldes ist dabei weniger ein Problem für die Verbreitung, aber wenn zum Beispiel ein infizierter Angestellter die Infektion in den familiären Kreis trägt, so breitet sich die Krankheit auch auf andere Bereiche aus. In diesem Fall sprechen wir von einem übergeordneten Infektionsumfeld, in diesem Beispiel der Arbeitsplatz, und einem nachgelagerten Infektionsumfeld, hier die Familie. Eine Infektion in der Familie kann wiederum zu nachgelagerten Infektionen führen, beispielsweise in der Schule, wenn ein in der Familie infiziertes Kind anschließend in der Schule ein weiteres Kind ansteckt. Diese Information wird in der Infektionstiefe eines Ausbruchs abgebildet: Bei einem Ausbruch haben alle Infektionen des *übergeordneten* Infektionsumfeldes die Tiefe 0, Infektionen in *nachgelagerten* Infektionsumfeldern haben die Tiefe 1, 2 etc.. Bei Infektionsumfeldern der Tiefe 0 ist damit die Herkunft der ursprünglichen Infektion unbekannt, bei Infektionstiefen 1, 2, etc. ist der Ursprung der Infektion in Bezug auf das übergeordnete Infektionsumfeld bekannt.

Wir betrachten zunächst nur die Ausbrüche als solche, ungeachtet der Größe. In Abbildung 2.1. ist die Verteilung der Infektionstiefen für Ausbrüche an unterschiedlichen übergeordneten Infektionsumfeldern gezeigt. Das Infektionsumfeld “Kindern und Jugendlichen” umfasst Ausbrüche an Schulen, im Hort und Kindergarten. Hier haben fast 90% der Ausbrüche eine Tiefe von 0, das heißt bei 10% der Ausbrüche deren Ursprung im Umfeld “Kindern und Jugendlichen” liegen kommt es zu einer nachgelagerten Infektion in einem anderen Infektionsumfeld[9]. Bei Seniorenheimen verbleiben ca. 94% im gleichen Infektionsumfeld und ca. 6% der Ausbrüche führen zu nachgelagerten Infektionen in anderen Umfeldern. Deutlich höhere Anteile an nachgelagerten Infektionen haben Haushalt, medizinischer Bereich und Arbeit. Am deutlichsten sticht hier das Infektionsumfeld Arbeit/Ausbildung heraus. Knapp 84% der Ausbrüche haben eine Infektionstiefe von 0. Das heißt anders gesprochen: **Bei 16% der Ausbrüchen am Arbeits- bzw. Ausbildungsplatz kommt es zu weiteren Infektionen außerhalb der Arbeit.**

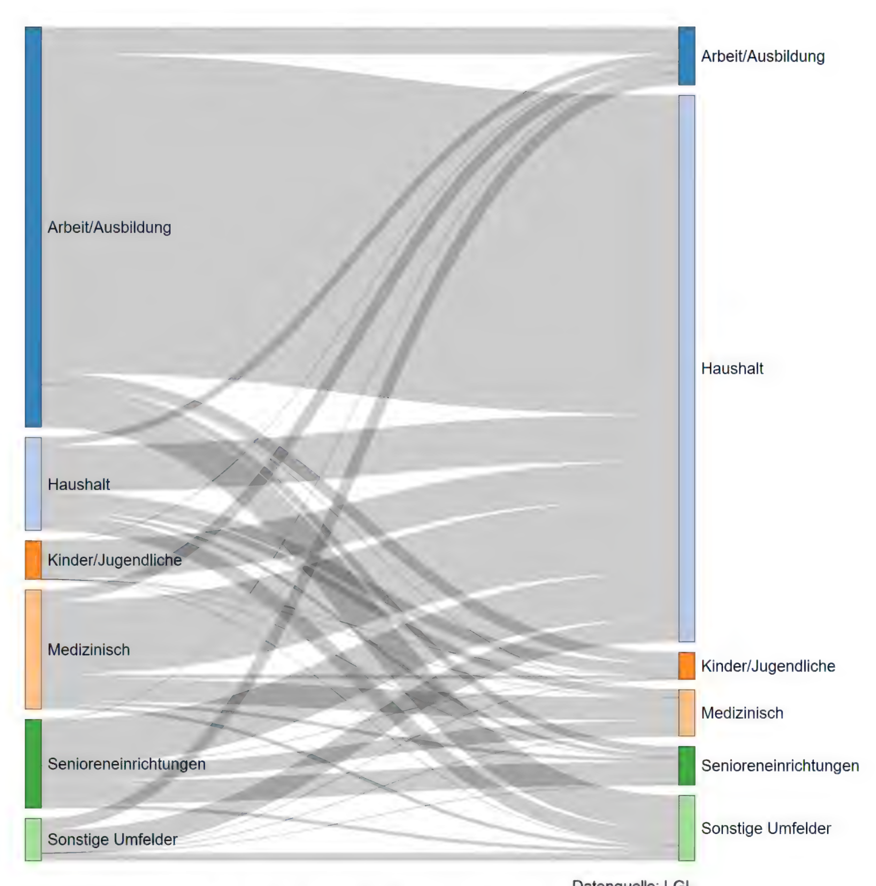
[9] Korrektur: In einer vorherigen Version dieses Berichtes waren hier falsche Prozentangaben angegeben.

Abbildung 2.1. Verteilung der Infektionstiefe bei Ausbrüchen für unterschiedliche Infektionsumfelder



Wir wollen weiter untersuchen, in welche Infektionsumfelder die Infektionen wandern. Dazu betrachten wir Sankey Diagramme, die eher bekannt sind unter dem Begriff "Wählerwanderungs-Diagramme". Für alle Ausbrüche mit einer Tiefe von 1 und mehr, also alle Ausbrüche, die nachgelagerte Infektionen außerhalb des ursprünglichen Infektionsumfeld haben, betrachten wir, in welches Infektionsumfeld die Infektionen auf nachgelagerten Tiefen gewandert sind. Wir vernachlässigen dabei eventuelle Zwischenebene und nehmen nur das übergeordnete Infektionsumfeld ("woher") und das nachgelagerte Infektionsumfeld ("wohin"). Das entsprechende "Wanderungs-Diagramm" ist in Abbildung 2.2 gezeigt. Zunächst ist offensichtlich, dass der Großteil der nachgelagerten Infektionen aus dem Arbeits-/Ausbildungsumfeld stammt, was wir schon in Abbildung 2.1 gesehen haben. Noch deutlicher wird, dass die meisten nachgelagerte Infektionen im Haushalt stattfinden. **Die Infektionen werden dabei in die Haushalte getragen, und zwar zum überwiegenden Teil aus der Arbeit und aus anderen Haushalten. Insofern spielen Arbeitsplätze bei der Ausbreitung von Infektionen als ursprünglicher Ausbruchsort (übergeordnetes Infektionsumfeld) die zentrale Rolle, Haushalte spielen hingegen bei den nachgelagerten Infektion die zentrale Rolle. Vereinfachend gesprochen, ein Großteil der Infektionsketten startet bei der Arbeit und wird im Haushalts-Umfeld gestoppt.**

Abbildung 2.2: Sankey Diagramm ("Wander-Diagramm") von nachgelagerten Infektionen. Links das ursprüngliche Infektionsumfeld, rechts das nachgelagerte Infektionsumfeld.

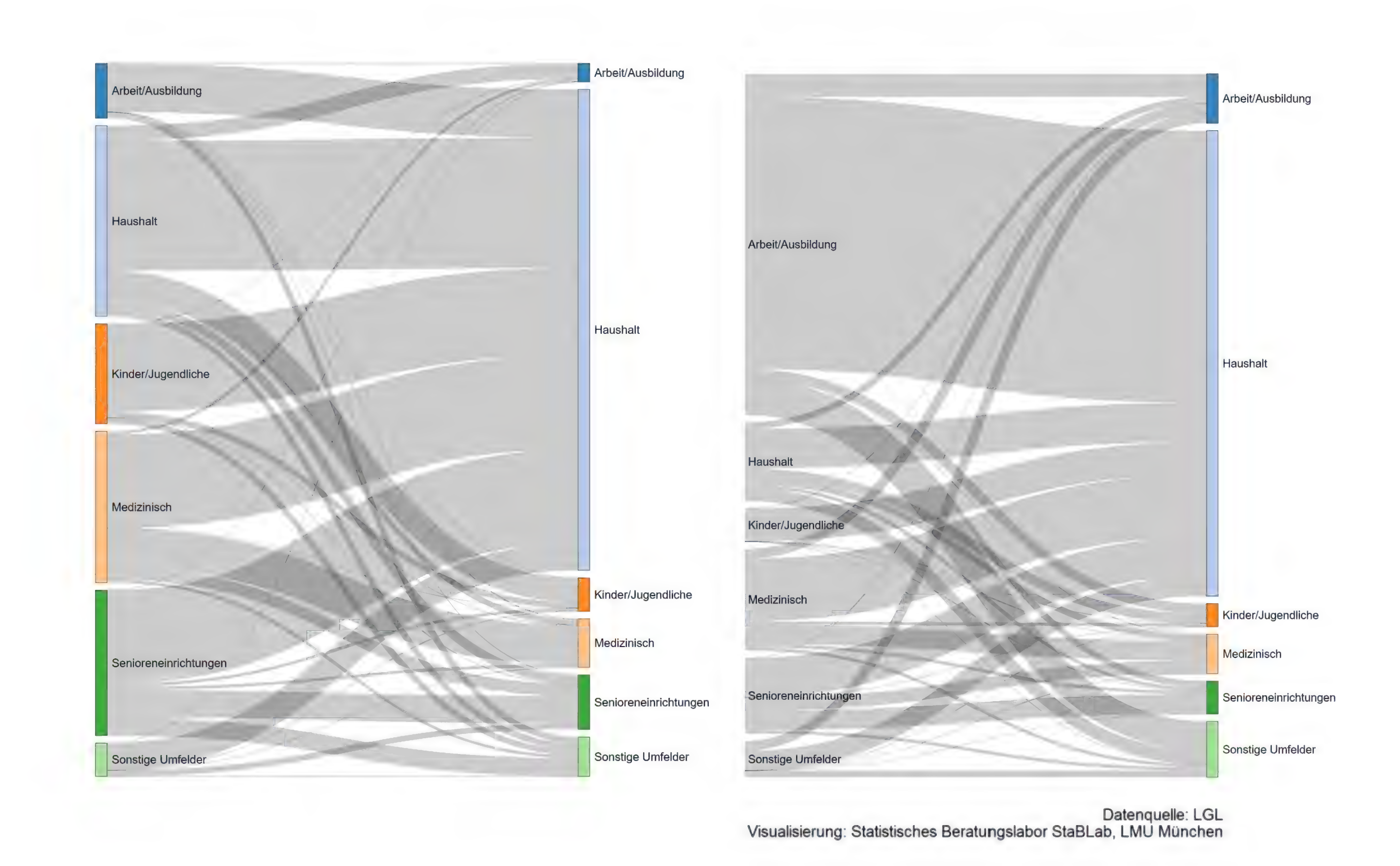


Wir erweitern die Analyse und betrachten unterschiedliche Zeiträume, nämlich den Zeitraum vor dem Lockdown und während des Lockdown. Wir stellen die zugehörigen Sankey Diagramme in Abbildung 2.3 dar, wobei die linke Darstellung den Zeitraum November/Dezember 2020 zeigt und die rechte Seite den Zeitraum Januar/Februar 2021. Es zeigt sich wenig Unterschied bei nachgelagerten Infektionsumfeldern, hier ist der Haushalt dominierend. Beim übergeordneten Infektionsumfeld zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede. **Im Lockdown ist das Infektionsumfeld Arbeitsplatz herausstechend und von dort werden die Infektionen in die Haushalte getragen**, sprich die meisten Ausbrüche an der Arbeitsstelle, die nachgelagerte Ausbrüche mit sich ziehen, führen zu Infektionen in Haushalten. Es lässt sich damit herausarbeiten, dass die meisten Infektionsketten in den Haushalten gestoppt werden, sowohl im Lockdown als auch davor. **Die Einschränkungen von privaten Kontakten, wie sie seit November gelten, helfen damit, Infektionsketten zu beenden. Diese Infektionsketten beginnen aber nicht im Haushalt, sondern gerade im Lockdown zum überwiegenden Teil bei der Arbeit.**

Die untersuchten Zahlen zeigen dabei nur die Infektionen, die in einem Zusammenhang stehen, also die so definierten Ausbrüche. Dies machen nur ca. 20% aller registrierten

Infektionen aus. Insofern zeigen die Analysen nur ein kleines Abbild der zahlreichen unbekannten Infektionsketten.

Abbildung 2.3. Sankey Diagramme (“Wander-Diagramme”) von nachgelagerten Infektionen. Linkes Diagramm zeigt den Zeitraum November/Dezember 2020, rechtes Diagramm zeigt den Januar/Februar 2021.



3. Das Ausbruchs- und Infektionsgeschehen in den Schulen

Ursula Berger, Cornelius Fritz, Jana Gauß, Diella Syliqi, Göran Kauermann

Das Infektionsgeschehen in Schulen und die damit verbundene Frage, in welcher Form der Schulbetrieb bei steigenden Infektionszahlen geführt werden kann, steht weiterhin im Fokus der öffentlichen Diskussion. Hygienemaßnahmen spielen hier eine wichtige Rolle. Hierzu wurde für den Präsenzunterricht eine lebende Leitlinie erstellt.[10] Im 2. Lockdown am 16.12.2020 wurde in Bayern, wie auch den anderen Bundesländern, der Präsenzunterricht ausgesetzt. Erst seit dem 1. Februar sind in Bayern die Abschlussklassen zurück an den Schulen, seit dem 22. Februar durften die Grundschüler wieder zum Unterricht in die Klassenzimmer und ab den 15. März waren in Bayern dann auch alle anderen Klassen für die verbleibenden zwei Wochen vor den Osterferien im Wechselunterricht in der Schule.

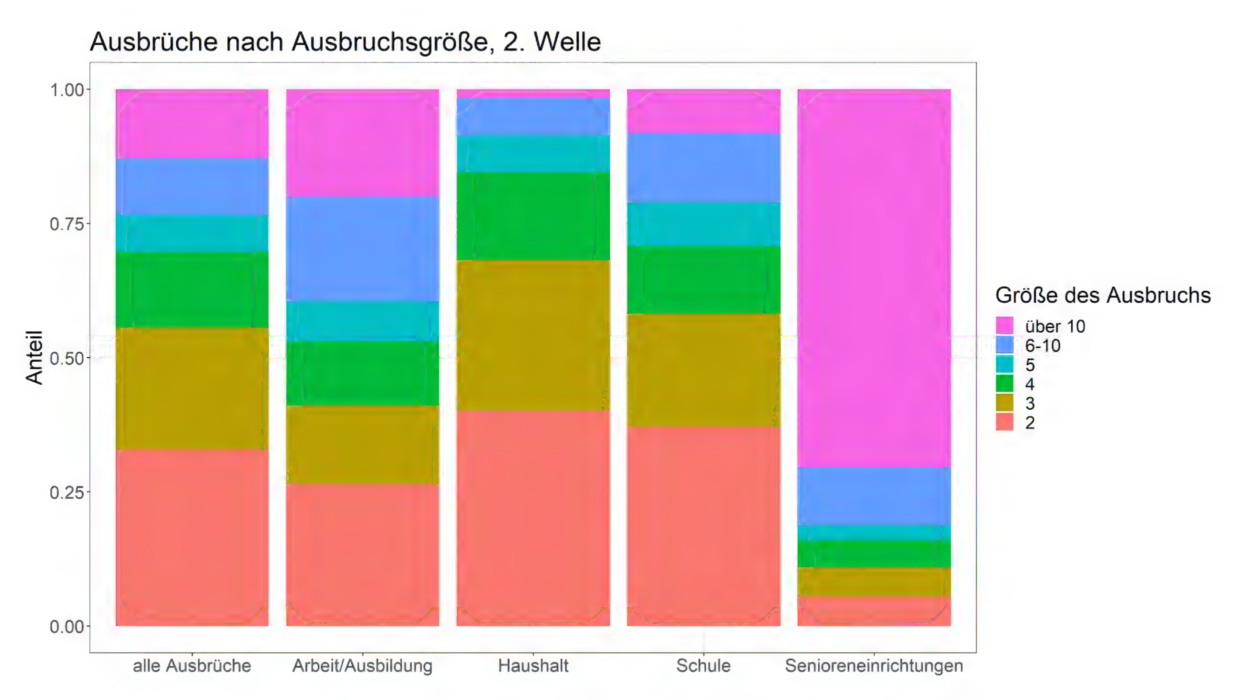
Bereits im CODAG Bericht Nr. 8 haben wir uns Ausbrüche und Infektionen aus Ausbrüchen an Schulen angesehen. Hier haben wir am Beispiel der Herbstferien gesehen, dass das Aussetzen des Präsenzunterrichts (wegen Ferien) keinen nachweisbaren Zusammenhang zum Ausbruchsgeschehen in anderen Infektionsumfeldern (Arbeitsplatz, Seniorenheim und Krankenhäusern) erkennen lässt. In Abschnitt 2 in diesem Bericht (siehe oben) wurden erneut Infektionsausbrüche in Bayern nach Infektionsumfeldern analysiert. Dabei waren Ausbrüche an Schulen, im Hort und an Kindergärten im Umfeld “Kinder und Jugendliche” zusammengefasst. Im Folgenden wollen wir auf dieses Infektionsumfeld noch einmal gesondert eingehen und Infektionen betrachten, die konkret in Schulen in der 2. Welle (also seit dem 1.9.2020) stattfanden.

In Bayern fand mit Beginn des neuen Schuljahres 20/21 am 8.9.2020 zunächst Präsenzunterricht in vollen Klassen unter Berücksichtigung strenger Hygienemaßnahmen statt, die in den weiterführenden Schulen beispielsweise auch das Tragen von Masken im Unterricht vorgeschrieben haben. Der Schulbetrieb fand in über 2400 Grundschulen und fast ebenso vielen weiterführenden Schulen mit insgesamt knapp 1.3 Millionen Schülern in ca.56000 Klassen statt.[11] Insgesamt wurden im Zeitraum ab dem 1.9.2020 bis Anfang März in Bayern 9612 Ausbrüchen registriert, wovon 232 Ausbrüche (also 2,4%) dem Infektionsumfeld Schule zugeschrieben wurden. Nimmt man an, dass ein Ausbruch dabei zum überwiegenden Teil innerhalb einer Klasse bleibt, ergibt sich je Schulklasse eine Ausbruchsquote von 0.004. Nur 32 dieser Schulausbrüche (also knapp 14%) zogen nachweislich nachgelagerte Ausbrüche mit sich. **Selbst unter Berücksichtigung der Infektionen aus nachgelagerten Ausbrüchen, blieben die Ausbrüche in Schulen eher klein; mehr als die Hälfte der Schulausbrüche betrafen lediglich 2-3 Fälle (Abbildung 3.1.).** Dies ist sicherlich auch auf die präventiven Quarantänemaßnahmen ganzer Klassenverbände zurückzuführen. **Insgesamt ist das Ausbruchsgeschehen an Schulen damit im Vergleich zu anderen Infektionsumfeldern eher gering.**

---

[10] Rehuess et. al. (2021) Leitlinie "Maßnahmen zur Prävention und Kontrolle der SARS-CoV-2-Übertragung in Schulen - Lebende Leitlinie": https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/027-076.html
[11] Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus: „Bayerns Schulen in Zahlen 2019/2020“, https://www.km.bayern.de/download/4051_Bayerns_Schulen_in_Zahlen_2019-2020_Onlineausgabe.pdf

Abbildung 3.1. Ausbruchsgröße nach Infektionsumfeld für die zweiten Welle in Bayern.



Den 232 Schulausbrüchen wurden insgesamt knapp 950 Infektionen zugeordnet von welchen knapp ein Viertel die Altersgruppe 21+ betrafen. Diese Altersgruppe schließt insbesondere Lehrer und Betreuer ein. Etwa genau so viele Infektionen betrafen die Altersgruppe der 11-14 Jährigen, während nur ein Fünftel Grundschüler betraf. Abbildung 3.2. zeigt die Verteilung der Fälle aus Schulausbrüchen über die Zeit nach Altersgruppen (unter 5 Jahre, 5-10 Jahre, 11-15 Jahre, 15-20 Jahre und Über 21 Jahre) farblich differenziert. Die Verteilung spiegelt den Verlauf der zweiten Welle wieder, der durch die Herbstferien, den Lockdown und die Weihnachtsferien unterbrochen wird.

Abbildung 3.3. zeigt vergleichend dazu die Infektionen unter Kindern und Jugendlichen insgesamt in der 2. Welle, einem Schulausbruch zugeordnet (durchgezogene Linie) bzw. nicht zugeordnet (gestrichelte Linie). **Es wird deutlich, dass der Anteil der Infektionen bei Kindern und Jugendlichen, die auf eine Schulausbruch zurückzuführen sind, in allen Altersgruppen zu jedem Zeitpunkt der Pandemie verschwindend gering war.**

Ein aktueller Bericht des RKI[12] gibt Hinweise, dass sich die Rolle der Kinder und Jugendlichen auch in Bezug auf die Varianten verändert. Dies ist sicherlich weiter zu beobachten, wobei die uns bis dato vorliegenden Daten noch keine Schlußfolgerung in diese Richtung geben.

---

[12]https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Maerz_2021/2021-03-30-de.pdf?__blob=publicationFile

Abbildung 3.2. Anzahl der COVID-19 Infektionen aus Schulausbrüchen in Bayern nach Altersgruppen seit Beginn der zweiten Welle.

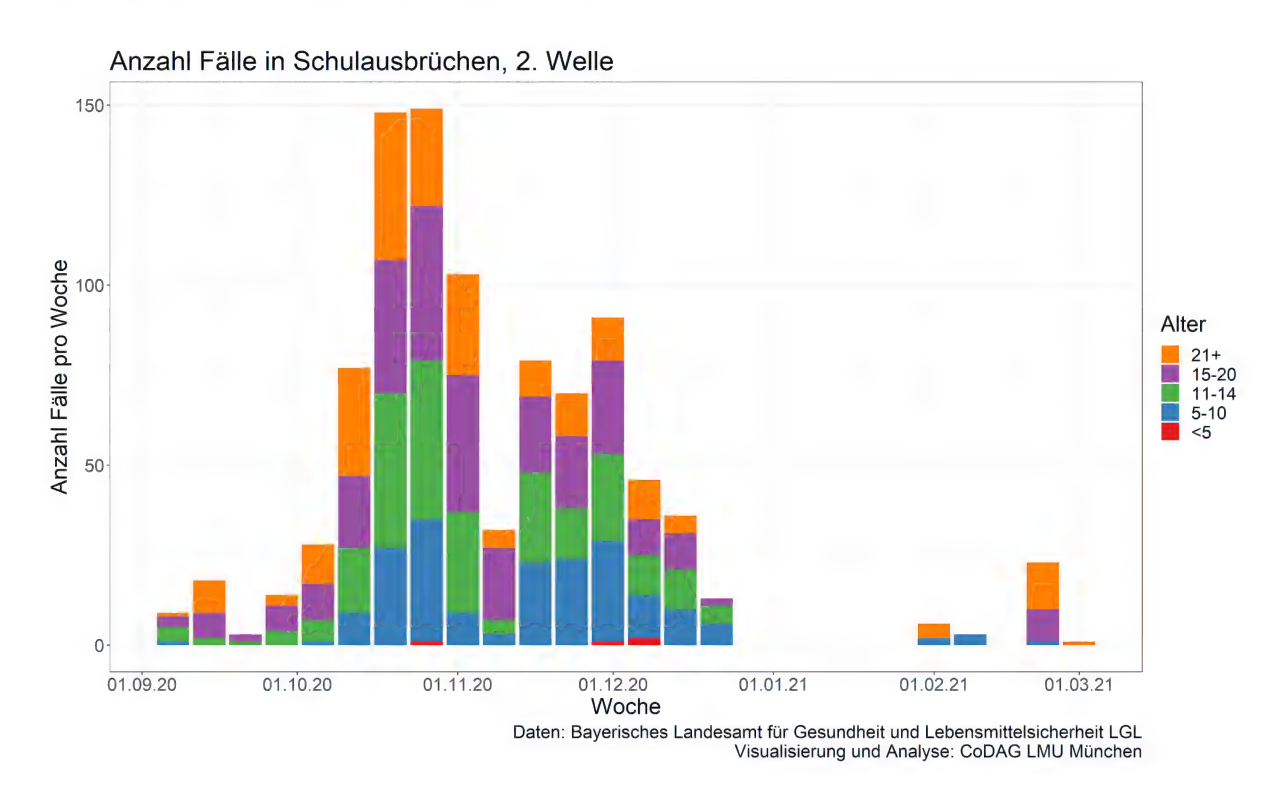


Abbildung 3.3. COVID-19 Infektionen unter Kinder und Jugendlichen während der 2. Welle in Bayern, die auf Ausbrüchen in Schulen zurückzuführen sind (durchgezogene Linie) und andere Infektionen (gestrichelte Linie). Die Zahlen sind für die Altersgruppen 5-10, 11-14 und 15-20 getrennt gezeigt.

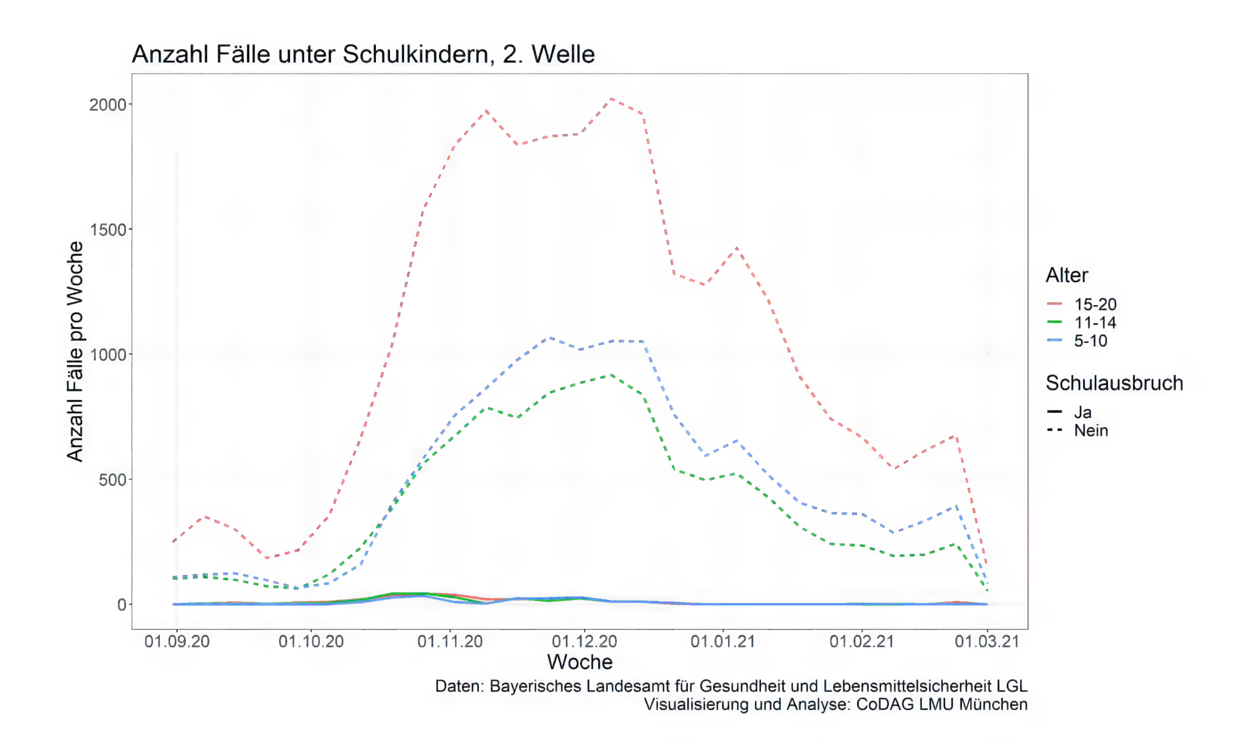
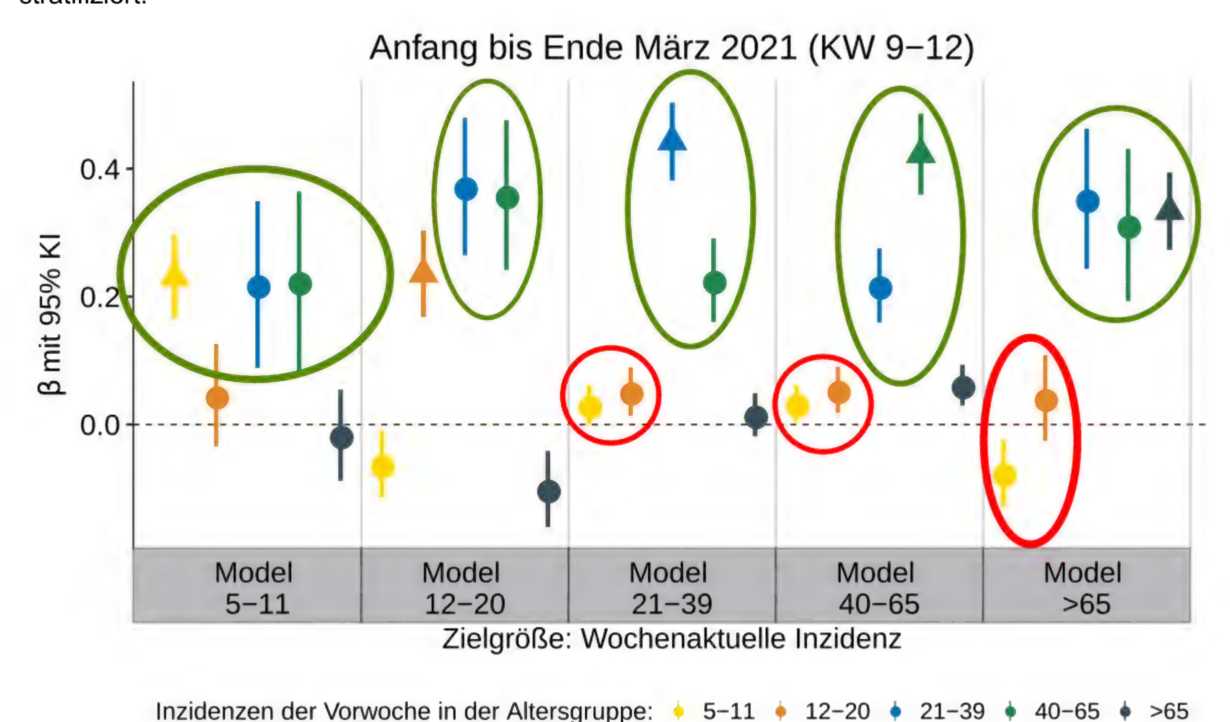


Abbildung 3.4. Effekt der Inzidenzen der Vorwoche in unterschiedlichen Altersgruppen (farblich markiert) auf die wochenaktuellen Inzidenzen für die Kalenderwochen 9-12 2020 nach Altersgruppen stratifiziert.



In den CODAG Berichten Nr. 8 und Nr. 10 haben wir uns der Frage gewidmet, wie sich das Infektionsgeschehen in unterschiedlichen Altersgruppen gegenseitig beeinflusst. Da in den letzten Wochen die Anzahl der Infektionen speziell unter Jugendlichen gestiegen ist und die Ausbreitung von neuen Virusvarianten weiter fortschreitet, wollen wir hier unsere Analyse aus Bericht 10 für die Kalenderwochen bis Ende März 2021 aktualisieren. Für eine methodische Erklärung des angewandten Verfahrens verweisen wir auf Kapitel 1 des CODAG Berichts Nr. 10.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.4. für Daten zwischen dem 1. und 31. März 2021 dargestellt. Im Einklang mit unseren bisherigen Resultaten ist der Einfluss der 5-11 Jährigen auf alle anderen Altersgruppen weiterhin sehr gering. Hingegen haben die Altersgruppen der 21-39 Jährigen und der 40-65 Jährigen weiterhin, relativ betrachtet, den höchsten Einfluss auf Inzidenzen in allen anderen Altersgruppen. Diese Effekte sind mit mithilfe von grünen Ringen dargestellt. Die Inzidenzen der Vorwoche aller anderen Altersgruppen spielen dagegen nur bei der Erklärung der eigenen Altersgruppe (dargestellt in Dreiecken) eine übergeordnete Rolle. Insbesondere sieht man, dass sich die Effekte der Kinder und Jugendlichen (5-11 und 12-20 Jahre) zur Beschreibung der Inzidenzen der 21-39 und 40-65 Jährigen zwar signifikant von 0 unterscheiden, aber hier trotzdem weit weniger die Vorhersage beeinflussen als die Inzidenzen der arbeitenden Population. **Insofern können wir die Ergebnisse aus vorherigen Analysen bestätigen, dass steigende Inzidenzen bei Kindern und Jugendlichen sich nur schwach auf die Inzidenzentwicklung in anderen Altersgruppen auswirken.**

4. Ein Blick zurück auf die zweite Welle - wer war wann wo infiziert?

Mara Stadler, Göran Kauermann, Christian L. Müller

Man kann die Daten der Inzidenzen als dreidimensionales Objekt begreifen, ähnlich wie der dreidimensionale Quader skizziert in Abbildung 4.1. Je Zelle ist dabei die Inzidenz in der entsprechenden Altersgruppe, im entsprechenden Kreis und in der entsprechenden Woche als Zahl angegeben. Das so resultierende Datenobjekt hat dabei eine Dimension von 5 (Altersgruppen) x 401 (Kreise und kreisfreie Städte) x 29 (Wochen, Anfang September 2020 bis Mitte März 2021). Dieses Datenobjekt ist die Grundlage zahlreicher Analysen, wobei es selten in dieser dreidimensionalen Form als ganzes betrachtet wird. Üblicherweise wird über eine Dimension summiert bzw. aggregiert. Will man die Inzidenzen je Kreis im Verlauf über die Zeit analysieren, so aggregiert man über die Altersgruppen. Will man die nationalen Inzidenzen wissen, so aggregiert man über die Kreise. Wir wollen hier nicht über eine Dimension aggregieren, sondern die Daten als dreidimensionales Datenobjekt analysieren. Mathematisch handelt es sich dabei um einen sogenannten Tensor, was im Prinzip einer dreidimensionalen Matrix entspricht. Diesen Tensor, also die Datenmatrix, kann man nun zerlegen, um zu analysieren, wer wann und wo infiziert war. Man betrachtet also alle Komponenten immer gleichzeitig. Die Zerlegung (hier berechnet mittels einer nicht-negativer Tensorzerlegung mit dem Softwarepaket nn-fac https://pypi.org/project/nn-fac/) zerfällt dabei in einzelne Komponenten, die wir nachfolgend analysieren wollen. Jede Komponente trägt dabei einen gewissen Prozentsatz zur Erklärung des Infektionsgeschehens bei. Die Zerlegungen sind in Abbildung 4.2 gezeigt, was wir nun inhaltlich interpretieren wollen.

Abbildung 4.1. Skizzierte dreidimensionale Datenmatrix (Tensor). Jede Zelle beinhaltet die Inzidenz der jeweiligen Altersgruppe und des jeweiligen Kreises pro Woche.

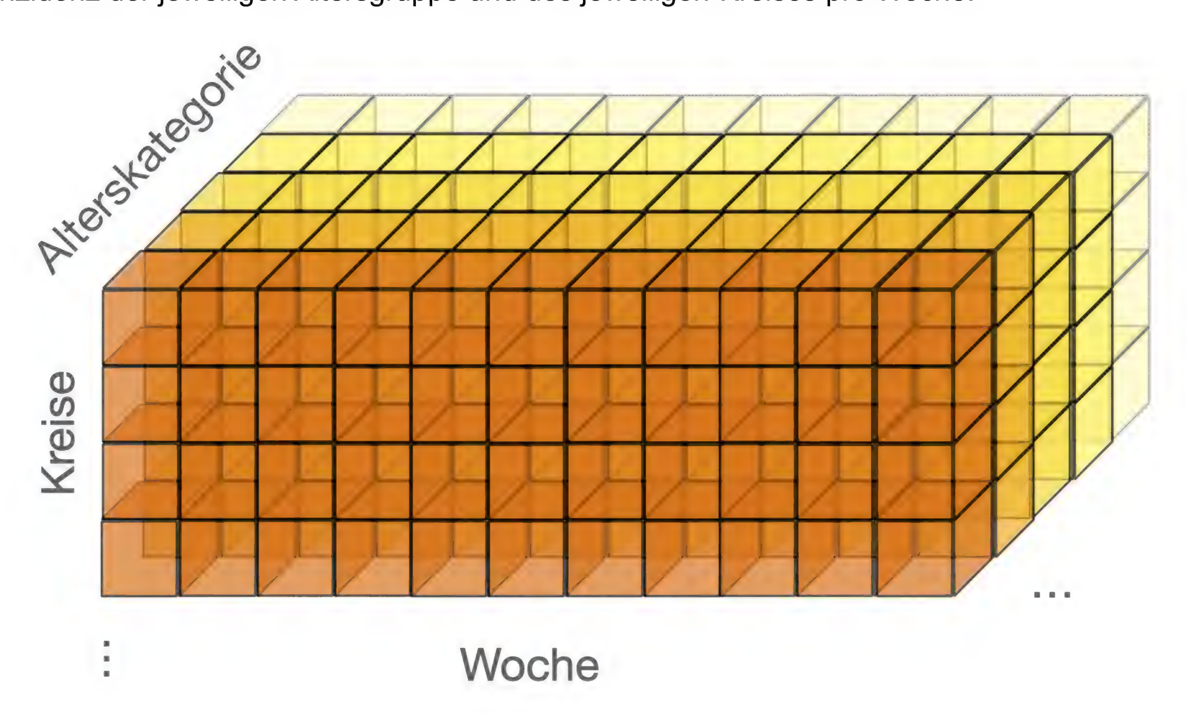
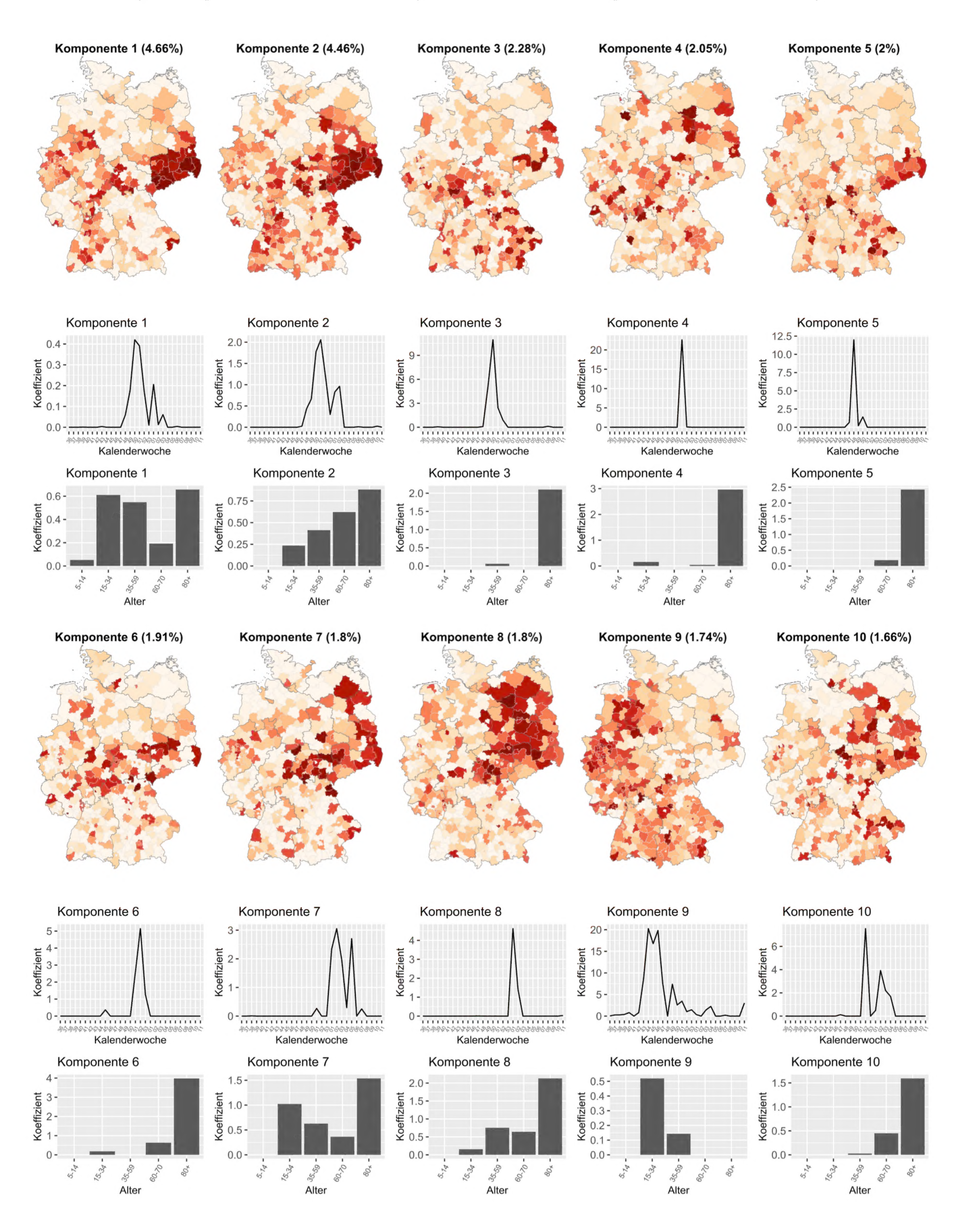


Abbildung 4.2. Zerlegung in die ersten 10 Komponenten in Bezug auf Landkreise (jeweils erste Reihe), Zeit (jeweils mittlere Reihe) und Altersstruktur (jeweils untere Reihe).



Wir sehen in Abbildung 4.2 die wichtigsten 10 Komponenten der Zerlegungen des Datentensors. Wir stellen dabei immer die Zerlegung in Bezug auf “wo” als Karte dar, “wann” als Kurve über die Zeit und “wer” als Histogramm der Altersgruppen. Auf den ersten Blick erscheint eine erkenntnisbringende Interpretation schwierig. Daher beginnen wir zunächst mit den Komponenten 1 und 2. Dies sind die wichtigsten Komponenten in Hinblick auf die Erklärung des Gesamtinfektionsgeschehens und sie zeigen die Dynamik, den Ort und die betroffenen Altersgruppen der zweiten Welle. In Bezug auf die räumliche Verteilung sehen wir hier vornehmlich Sachsen und Ost-Thüringen betroffen, sowie etwas abgeschwächt NRW und den westlichen Teil von Baden-Württemberg. Betrachtet man die zweite und dritte Zeile des Plots, so spiegelt diese zum einen die zeitliche Verteilung dieser erhöhten Inzidenzen in den genannten Gebieten wider als auch die involvierte Altersverteilung. Die zeitliche Verteilung, in der zweiten Reihe dargestellt, zeigt, dass der Peak der Welle in Kalenderwoche 50, also Mitte Dezember, war und die Inzidenzen davor stark ansteigen und danach stark abfallen. Bei der Altersverteilung, in der dritten Reihe zu sehen, erkennen wir, dass bis auf die jüngste Altersgruppe, ansonsten alle Altersgruppen betroffen sind. Die ersten beiden Komponenten zeigen bekannte Tatsachen, nämlich die **Konzentration hoher Inzidenzen auf einzelne Bereiche von Deutschland, primär in Sachsen und Thüringen, und die Problematik der Infektion bei den eher Älteren.**
Neue Erkenntnisse gewinnt man aus den weiteren Komponenten der Zerlegung der Datenmatrix. Die Komponenten 3, 4, 5 und 6 haben alle einen ähnlichen Verlauf in Bezug auf Zeit (zweite Zeile) und Altersstruktur. Sie fallen durch eine kurze, meist nur 1 wöchige, hohe Inzidenz in der Altersgruppe der über 80 Jährigen auf. Dabei handelt es sich mutmaßlich um Ausbrüche in Alten- und Pflegeheimen. Betrachtet man die räumliche Verteilung, so sieht man bei Komponente 3 eine leichte Gruppierung in Bayern und Hessen. Dort war die Problematik von Infektionen in Seniorenheimen in Kalenderwoche 50 maximal. Komponente 4 zeigt wenig räumliche Auffälligkeiten. Die Ausbrüche in Pflegeheimen in Kalenderwoche 51, welche in dieser Komponente hervorgehoben ist, waren über das gesamte Bundesgebiet verteilt. Komponente 5 hingegen ist in Südsachsen und Oberbayern ausgeprägt. Hier handelt es sich um frühe Ausbrüche in der Kalenderwoche 48. Komponente 6 zeigt räumliche Auffälligkeiten in Nordsachsen, Thüringen und Hessen. Hierbei handelt es sich um Ausbrüche in Kalenderwoche 52, also der Weihnachtswoche, sowie abgeschwächt in der Woche davor und danach. **Wir sehen, ein Großteil der hohen Inzidenzen in Deutschland wird durch kurze, hohe 7-Tage-Inzidenzen bei den über 80 Jährigen hervorgerufen, die ihrerseits komplett verteilt über Deutschland stattgefunden haben, und nicht auf die oben genannten Hotspots in Sachsen und Thüringen beschränkt waren.**
Komponente 7 und 8 zeigen Infektionen, deren Maxima in den Kalenderwochen 1 und 2 von 2021 liegen, also im späten Verlauf der zweiten Welle. **Hier ist zum überwiegenden Teil der Osten von Deutschland betroffen, insbesondere Brandenburg, und die nördlichen Teile von Sachsen und Thüringen. Die zweite Welle ebbte damit in diesem Bereich von Deutschland deutlich langsamer ab.**
Eine weitere interessante Erkenntnis liefert Komponente 9, welche in gewisser Weise ein Gegenstück zu den Komponenten 7 und 8 darstellt. Es handelt sich um hohe Werte zu Beginn der zweiten Welle, um Kalenderwoche 45, die ausschließlich von der jüngeren Bevölkerung getrieben wurde und besonders den Westen von NRW und Niedersachsen betrifft. **Die zweite Welle hat damit im Westen der Republik früher begonnen als im Rest von Deutschland und konzentrierte sich auf die jüngere Bevölkerung.**
Komponente 10 ist ähnlich zu Komponente 6 und daher nicht näher beschrieben.

Wir sehen, ein Großteil der Variation in den Inzidenzen war bestimmt durch plötzliche Ausbrüche bei den über 80 Jährigen. Die zweite Welle zeigte sich früh im Westen der Republik und ebbte im Osten deutlich langsamer ab.

Literatur

Abate, S.M., Mantefardo, B. & Basu, B. *Postoperative mortality among surgical patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis.* Patient Saf Surg 14, 37, 2020.

Bager, Peter et al. Increased Risk of Hospitalisation Associated with Infection with SARS-CoV-2 Lineage B.1.1.7 in Denmark. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3792894 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3792894

Günther, F., Bender, A., Katz, K., Küchenhoff, H., & Höhle, M. *Nowcasting the COVID‐19 pandemic in Bavaria*. Biometrical Journal. 2020, https://doi.org/10.1002/bimj.202000112

Günther, F. *Code to estimate the daily numbers of new ICU admissions from the number of occupied beds.* 2021, https://github.com/FelixGuenther/backcalc_icu

Küchenhoff, H., Günther, F., Höhle, M. und Bender, A. *Analysis of the early COVID-19 epidemic curve in Germany by regression models with change points.* Epidemiology and Infection, 2021 Vol 149, e68. *DOI: https://doi.org/10.1017/S0950268821000558*

Schneble, M., De Nicola, G., Kauermann, G., & Berger, U. *Nowcasting fatal COVID‐19 infections on a regional level in Germany.* Biometrical Journal. 2020. https://doi.org/10.1002/bimj.202000143